

Aleksandra Rakowska
Politechnika Poznańska
Poznań

Konieczność dynamicznego rozwoju sieci kablowej – uwarunkowania techniczne i społeczne

Wprowadzenie

Inwestorzy budujący nowe lub modernizujący istniejące linie elektroenergetyczne stają przed dylematem: czy zastosować linię napowietrzną, czy kablową. Aspekt ekonomiczny ograża oczywiście bardzo ważną rolę przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych. Ciągłe koszty budowy linii napowietrznej jest niższy niż koszt budowy równoważnej linii kablowej. Jednakże coraz trudniej jest uzyskać społeczną akceptację na budowę linii napowietrznej wysokich napięć na terenie miast lub w ich pobliżu. Aby przekonać społeczeństwo do budowy linii napowietrznych podejmowane są różne działania, np. do projektowania konstrukcji wsporczych linii napowietrznych wysokich i najwyższych napięć zaprasza się również architektów lub poddaje się ocenie społecznej zaproponowane rozwiązania (rys. 1) [1]. Włączając społeczeństwo w akcję wyboru proponowanej konstrukcji słupa czasami uzyskuje się zdecydowanie wyższy stopień akceptacji dla nowej inwestycji energetycznej.



Rys. 1 Propozycje słupów linii 400 kV poddanych ocenie społecznej [1]

Protesty przeciwko budowaniu linii napowietrznych mają swoje źródło nie tylko w odczuciach estetycznych, czyli nieakceptowaniu widoku linii w najbliższym otoczeniu miejsca zamieszkania, ale przede wszystkim ze względu na wyolbrzymione często, spodziewane zagrożenie działania pola elektrycznego i magnetycznego wokół linii. Oddziaływanie na środowisko minimalizuje się poprzez odpowiednią konfigurację przewodów roboczych oraz stosując odpowiednie konstrukcje wsporcze czyli słupy. W niektórych przypadkach dla maksymalnego zmniejszenia pola magnetycznego proponowane są bardzo nietypowe konstrukcje wsporcze – rys. 2. Dla konstrukcji tej otrzymano prawie 40% zmniejszenie pola magnetycznego i to przy zmniejszeniu wysokości słupa o 4 m, w porównaniu z rozwiązaniem typowym [2].



Rys. 2 Słup kompaktowy 420 kV typu New Diamond [2]

Przedsiębiorstwa energetyczne, zajmujące się przesyłaniem i dystrybucją energii elektrycznej, mają obowiązek utrzymywania zdolności urządzeń i sieci do realizacji dostaw energii w sposób ciągły i niezawodny, przy zachowaniu obowiązujących wymagań jakościowych. Przedsiębiorstwa energetyczne zapewniają ciągłość dostaw energii poprzez utrzymywanie odpowiednich rezerw mocy oraz odpowiedniej struktury i stanu sieci elektroenergetycznej. Z kolei, myśląc o stanie krajowego systemu elektroenergetycznego, aby zachować optymizm – muszą być spełnione trzy warunki:

- wzrost zainstalowanej mocy wytwórczej energii elektrycznej,
- dynamiczny rozwój, ale i modernizacja sieci elektroenergetycznej na wszystkich poziomach napięcia,
- uzyskanie społecznego poparcia (lub chociażby akceptacji) dla nowych inwestycji energetycznych.

Spełnienie powyższych warunków wymaga dynamicznego rozwoju sieci elektroenergetycznej, a w tym także rozwoju elektroenergetycznych linii kablowych.

Preferowanie budowy linii kablowych

Na stawiane pytanie – co należy budować: linię napowietrzną czy linię kablową odpowiedź na terenach zabudowanych jest właściwie pytaniem retorycznym. Bo tylko linia kablowa będzie zaakceptowana przez okolicznych mieszkańców. Na całym świecie sprzeciw ludności przeciwko obecności wysokonapięciowej linii napowietrznej w pobliżu ich domów, ogrodów itp. jest coraz ostrzejszy. Szczególnie jest to obserwowane w momentach podejmowania decyzji o budowie nowych linii. Coraz częściej również prace modernizacyjne przeprowadzane na istniejącej linii napowietrznej w centrach miast zmierzają w kierunku zamiany jej na linię kablową na całej długości lub, co najmniej na długości kilku jej przęseł.

Decyzja o inwestycji kablowej WN wynika z kilku przesłanek, z których należy wymienić: względy techniczne, względy topograficzne (teren trudny do montażu linii napowietrznej), względy ekologiczne, ale coraz częściej właśnie względy społeczne stają się najważniejsze bowiem w ostatnich latach zdecydowanie aspekt społeczny wysuwa się na pierwsze miejsce wśród czynników warunkujących podejmowanie decyzji inwestycyjnych. Obecnie zupełnie nierealne są szanse na uzyskanie społecznej zgody, aby zainstalować linię napowietrzną w centrum miasta, a sytuacja to dotyczy wszystkich wysokorozwiniętych krajów.

Dynamiczny rozwój sieci kablowej obserwowany jest na całym świecie. Szczególnie spektakularne są tego przykłady, gdy śledzi się rozwój linii kablowych wysokich i najwyższych napięć, a o dynamicznym wzroście długości sieci kablowej można mówić od momentu wprowadzenia izolacji wytłaczanej w kablach wysokich i najwyższych napięć WN i NN (EWN).

W Polsce mamy obecnie „erę” rozwoju sieci kablowej 110 kV (nie należy oczywiście zapomnieć, że jest już zainstalowany pierwszy odcinek linii kablowej na napięcie 400 kV, a także nowe linie 220 kV) ułożonej kablami o izolacji z polietylenu usieciowanego. Dlatego w analizie rozwoju sieci kablowej w Polsce skupiono się głównie na liniach kablowych 110 kV.

Warto w tym miejscu zacytować fragment referatu z II-iego Seminarium „Sieci kablowe 110 kV”, które odbyło się w 1976 roku, autorstwa –niestety nieżyjącego już – wspaniałego eksperta kablowego Pana Jana Grobickiego; „...w ostatnich latach w wielu krajach świata były prowadzone szerokie prace badawcze mające na celu opracowanie optymalnej konstrukcji kabli elektroenergetycznych na napięcie 110 kV i wyższe. Wynika to przede wszystkim ze znacznego wzrostu zapotrzebowania na kable, spowodowanego zwiększeniem mocy odbiorników prądu elektrycznego w wielu zakładach przemysłowych, wymagających doprowadzenia linii kablowych 110 kV do poszczególnych wydziałów produkcyjnych... W Polsce w wyniku uruchomienia w Bydgoskiej Fabryce Kabli produkcji kabli elektroenergetycznych o izolacji z polietylenowej na napięcie 15 kV i 20 kV zostały zebrane znaczne doświadczenia w zakresie wytłaczania izolacji kablowej o dużej grubości, a także w zakresie montażu sposobu badań tego typu kabli. Na tej podstawie w OBR „Kablosprzęt” rozpoczęto w 1974 r. prace badawcze nad kablami o izolacji polietylenowej na napięcie 110 kV...” [3].

Oczywiście trzeba wspomnieć, że historycznie rozwój linii kablowych wysokiego napięcia w Polsce należy rozpocząć od kabli produkowanych przez Krakowską Fabrykę Kabli (ówczesna nazwa). Fabryka ta w 1958 roku rozpoczęła produkcję kabli 110 kV. Początkowo były to niewielkie ilości o długości potrzebnej do budowy jednej linii na rok lub dwa. Wzrost zapotrzebowania zaobserwowano dopiero od roku 1970. W 1986 roku eksploatowano 131 km linii kablowych 110 kV, a wśród nich 43 km kabli było wyprodukowanych w Krakowie – pozostałe z importu [4]. Oczywiście wszystkie z tych kabli, to kable o izolacji papier-olej, a sumaryczna długość dotyczyła wszystkich eksploatowanych kabli – zarówno przez energetykę zawodową, jak i przemysłową.

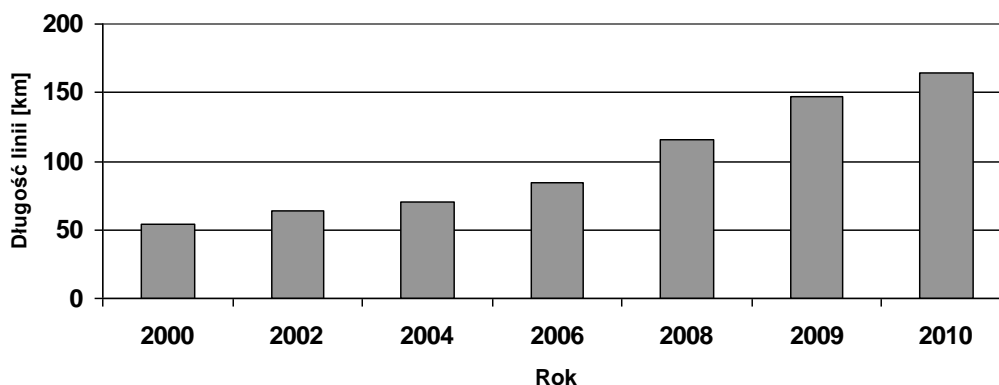
Natomiast jeżeli rozpatruje się rozwój sieci kablowej ułożonej kablami o izolacji wytłaczanej, to historia rozpoczyna się od roku 1975 r., gdy w fabryce w Bydgoszczy wyprodukowano prototypowy odcinek kabla 64/110 kV o przekroju żyły roboczej 240 mm², a autorka tego referatu brała udział w realizacji prac badawczych prowadzonych w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej m.in. nt. BADANIA PROTOTYPOWEGO KABLA ELEKTROENERGETYCZNEGO O IZOLACJI POLIETYLENOWEJ NA NAPIĘCIU 110 kV. Efektem tej pracy było to, że jedną ze swoich pierwszych prezentacji konferencyjnych poświęciła właśnie efektom badania zjawisk starzeniowych izolacji pierwszego krajowego kabla na napięcie 110 kV, a było to na Konferencji Naukowo-Technicznej Oddziału Bydgoskiego SEP i Bydgoskiej Fabryki Kabli we wrześniu 1978 w Bydgoszczy.

Od momentu wprowadzenia izolacji wytłaczanej w kablach układanych w naszym kraju początkowo Instytut Energetyki gromadził wszystkie dane o długości instalowanych linii (oczywiście wówczas dotyczyło to tylko linii średniego napięcia) oraz o wszystkich przypadkach awarii, a także organizował wiele seminariów i innych spotkań poświęconych kablowej izolacji wytłaczanej.

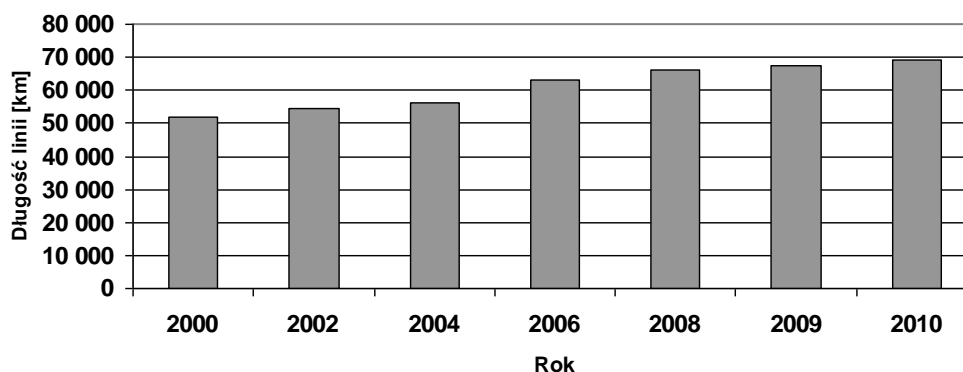
Od tamtego czasu minęło wiele lat i patrząc obecnie na rozwój sieci elektroenergetycznej, zarówno średnich, jak i wysokich napięć w każdym z miast można tworzyć coraz dłuższe listy nowych linii kablowych lub odcinków linii kablowych, układanych w miejsce likwidowanych fragmentów linii napowietrznych. Ostatnie lata to układanie tylko kabli o izolacji wytłaczanej, nazywanych często kablami „suchymi”. Są to linie układane kablami produkcji krajowej ale także i z importu.

Niestety obecnie jest bardzo trudno zdobyć dokładne informacje na temat całkowitej długości eksploatowanych linii kablowych w krajowym systemie elektroenergetycznym na poszczególnych poziomach napięcia. Należałoby bowiem uzyskać informację o liniach eksploatowanych przez tzw. energetykę zawodową, zakłady przemysłowe, kolej i innych operatorów sieci. Na rys. 3 pokazano rozwój eksploatowanej tylko przez energetykę

zawodową sieci kablowej 110 kV, a na rys. 4 rozwój sieci SN (na podstawie danych Polskiego Towarzystwa Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej).



Rys. 3 Długość linii kablowych 110 kV eksploatowanych przez energetykę zawodową [5]



Rys. 4 Długość linii kablowych SN eksploatowanych przez energetykę zawodową [5]

Na całym świecie w ostatnich latach zainstalowano znaczące długości linii kablowych zarówno prądu przemiennego, jak i stałego (czyli zarówno kabli lądowych, jak i morskich), wykorzystując coraz lepsze i doskonalone metody ich układania oraz stosując najnowsze konstrukcje osprzętu kablowego. Niestety również gromadzenie danych na temat sumarycznej długości eksploatowanych na świecie linii kablowych następuje z dużymi trudnościami, ponieważ w trakcie prowadzenia różnego rodzaju ankietyzacji nie udaje się uzyskać wiarygodnych danych od przedstawicieli wielu regionów czy nawet całych państw (i to z grupy wysokorozwiniętych). Między innymi w ramach prac Grup Roboczych CIGRE w 1996 roku pokuszono się o kompleksową ocenę długości sieci kablowej średniego napięcia. Wykorzystano wówczas również współpracę z Międzynarodowym Stowarzyszeniem Dystrybutorów Energii Elektrycznej UNIPED. W tabeli 1 zestawiono sumaryczną długość linii kablowych eksploatowanych w Europie, z podziałem na poziom napięcia znamionowego tych linii oraz rodzaj zastosowanej izolacji kablowej. Dane obrazują niestety stan na koniec 1995 r.

Tablica 1. Długość linii kablowych - raport UNIPED DISCAB; stan na koniec 1995 r. [6]

| Napięcie znamionowe [kV] | Całkowita długość linii kablowej o izolacji danego rodzaju w [km] | | | | | |
|--------------------------|---|-------|-----|--------|--------------------|--------------------|
| | XLPE | EPR | PCV | PE | papier + impregnat | sumaryczna długość |
| 10 | 71 212 | 1 844 | 780 | 6 258 | 291 725 | 371 819 |
| 20 | 139 378 | 1 568 | 130 | 12 652 | 140 877 | 294 605 |
| 30 | 3 141 | 0 | 18 | 1 405 | 9 329 | 13 893 |
| Razem | 213 713 | 3 412 | 928 | 20 315 | 441 931 | 680 317 |

Także w 1996 roku opublikowano Technical Brochure CIGRE No 110 [7], zawierającą *Comparison of overhead lines and underground cables*. Z kolei w 2007 roku przedstawiono dane opracowane przez Grupę Roboczą CIGRE WG B1.09, dotyczące sieci kablowej wysokiego napięcia prądu przemiennego [8]. Dane te prezentowały stan sieci wysokich napięć na końcu roku 2005. W tablicy 2 zestawiono długość linii napowietrznych i kablowych w poszczególnych państwach.

Tablica 2. Długość linii elektroenergetycznych na napięcie 110-219 kV w dziesięciu państwach, w których udział linii kablowych jest najwyższy stan na koniec 2005 r.[8]

| Państwo | Długość linii [km] | | | Udział linii kablowych [%] |
|-----------------|--------------------|----------------|--------|----------------------------|
| | kablowych | napowietrznych | razem | |
| Chiny | 748 | 2 017 | 2 765 | 27,0 |
| Szwajcaria | 547 | 1 615 | 2 162 | 25,2 |
| Holandia | 1 068 | 5 495 | 6 563 | 16,3 |
| Dania | 515 | 3 650 | 4 165 | 12,4 |
| Korea | 2 144 | 16 813 | 18 957 | 11,3 |
| Wielka Brytania | 2 967 | 23 192 | 26 159 | 11,3 |
| Belgia | 311 | 3 780 | 4 091 | 7,6 |
| Austria | 757 | 10 282 | 11 039 | 6,9 |
| Niemcy | 4 972 | 76 630 | 81 602 | 6,1 |
| Japonia | 1 769 | 34 732 | 36 501 | 4,8 |

Jednakże szczególnie duże zainteresowanie skupia się na zebraniu światowych doświadczeń eksploatacyjnych. Dlatego chcąc ocenić jakie są doświadczenia z eksploatacji tych coraz dłuższych linii kablowych średnich, wysokich i najwyższych napięć podejmowane są na całym świecie próby gromadzenia danych. Między innymi utworzona została w Holandii międzynarodowa organizacja KSANDR – odpowiedzialna za badania i kształcenie w zakresie zarządzania majątkiem sieciowym oraz za ocenę niezawodności elementów systemu elektroenergetycznego. Organizacja ta zbiera między innymi z całego świata dane o awaryjności sieci elektroenergetycznej, jednakże dane te dotyczą głównie doświadczeń z eksploatacji linii kablowych średniego napięcia. Próby gromadzenia danych podejmowano także w ramach działalności CIGRE w Komitecie Studiów B1 (tablica 3). W ramach Study Committee B1 *Kable elektroenergetyczne* działa kilkanaście grup roboczych, a wśród nich działała także grupa ekspertów, w której brała udział także autorka niniejszego referatu – WG B1.10. Analiza obejmowała linie kablowe na napięcie 60 kV i wyższe. W broszurze tej, w której zebrano i przeanalizowano wszystkie dostarczone z całego świata dane dokonano także pewnego przeglądu konstrukcji oraz stosowanego osprzętu kablowego [9]. Zebrane dane dotyczyły doświadczeń eksploatacyjnych za okres pięciu lat mierzony dla kabli ułożonych w ziemi a dla kabli morskich okres wydłużono do piętnastu lat. W obu przypadkach datą końcową analizowanych danych był koniec 2005 roku. Przeanalizowano doświadczenia eksploatacyjne dla linii kablowych lądowych o długości ponad 33 000 km w przeliczeniu na jeden tor linii (tablica 3). Niestety uzyskany obraz nie obejmuje wszystkich istniejących na całym świecie linii kablowych, ponieważ nie uzyskano odpowiedzi na wszystkie rozesłane ankiety, a w niektórych przypadkach brak odpowiedzi dotyczył całego kraju. Jednakże zakres zgromadzonych danych pozwala przyjąć, że wyniki są reprezentatywne i na ich podstawie można oszacować istniejące trendy rozwoju.

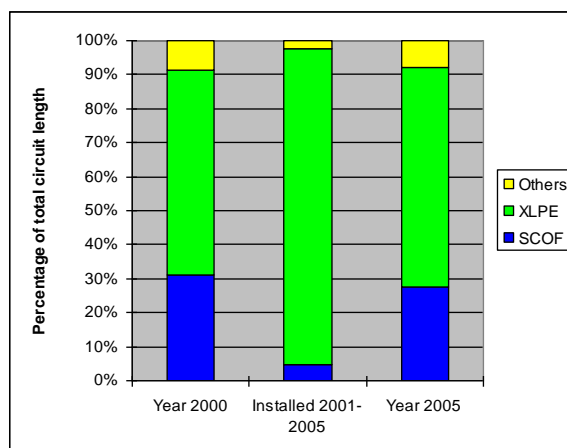
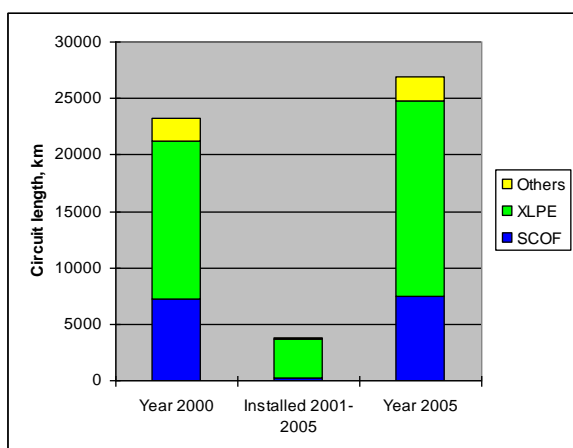
Tablica 3. Długość linii kablowych dla których przeprowadzono analizę danych statystycznych [9]

| Poziom napięcia [kV] | Długość linii kablowych wg. różnych analiz podana w [km] | | | |
|----------------------|--|-------------------------|------------------|-------------------------|
| | Electra 137 1991 | Komisja Europejska 2003 | CIGRE B1-07 2007 | CIGRE B1-10 2008 |
| 60-109 | 3 646 | brak danych | 24 859 | 18 000 |
| 110-219 | 717 | 16 000 | 22 406 | 9 500 |
| 220-314 | 1 591 | 1 720 | 5 555 | 4 500 |
| 315-500 | 230 | 120 | 1 586 | 1 000 |
| >500 | 2 | brak danych | brak danych | brak danych |
| Suma | 6 195 | 17 840 | 54 406 | 33 000 |

W tablicy 4 skupiono się tylko na liniach kablowych na napięcie 60-219 kV, ze względu na fakt, że dla naszego systemu elektroenergetycznego na tym poziomie napięcia rozwój sieci kablowej wydaje się być najbardziej dynamiczny. Na rys. 5 pokazano ze wspomnianej Broszury Technicznej CIGRE No 379 oryginalny rysunek dotyczący kabli na napięcie 60-219 kV z podziałem na długość linii kablowych w roku 2000, linii zainstalowanych w latach 2001-2005 oraz stan na koniec 2005 r. Wśród instalowanych pomiędzy rokiem 2000 i 2005 linie kablowe na napięcie poniżej 220 kV to w 90% linie ułożone kablami o izolacji XLPE. Coraz szerzej też wzrasta stosowanie kabli z barierami promieniowymi, a oceniając osprzęt kablowy najszerze zastosowanie w ostatnich latach zdecydowanie uzyskał osprzęt prefabrykowany [10].

Tablica 4. Długość linii kablowych prądu przemiennego 60-219 kV stan na końcu 2005 r. [10]

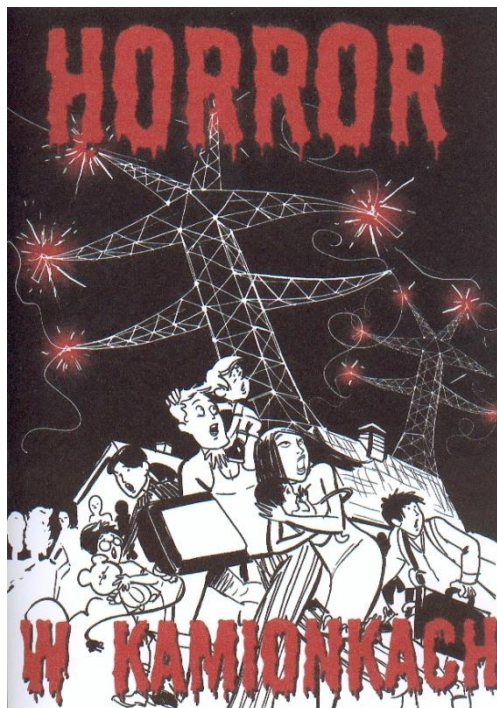
| Typ kabla | Powłoka/uszczelnienie | Poziom napięcia [kV] | |
|--------------------------------|------------------------------|----------------------|---------|
| | | 60-109 | 110-219 |
| SCOF | brak danych | 3 300 | 4 116 |
| HPOF | brak danych | 121 | 474 |
| GC | brak danych | 68 | 592 |
| PILC | brak danych | 522 | |
| EPR | lita powłoka metalowa | 11 | 137 |
| | bez uszczelnienia | | 16 |
| PE | lita powłoka metalowa | 497 | 60 |
| | bez uszczelnienia | 125 | 7 |
| | uszczelnienie z folii Al | 9 | |
| XLPE | lita powłoka metalowa | 3 161 | 2 609 |
| | bez uszczelnienia | 4 480 | 415 |
| | uszczelnienie z folii Al | 5 683 | 1 057 |
| suma linii kablowych | 32 917 dla wszystkich napięć | 17 978 | 9 483 |
| % kabli o izolacji polimerowej | 61 dla wszystkich napięć | 78 | 45 |



Rys. 5. Długość linii kablowych dla napięcia 60-219 kV wg. CIGRE TB No 379 [9]

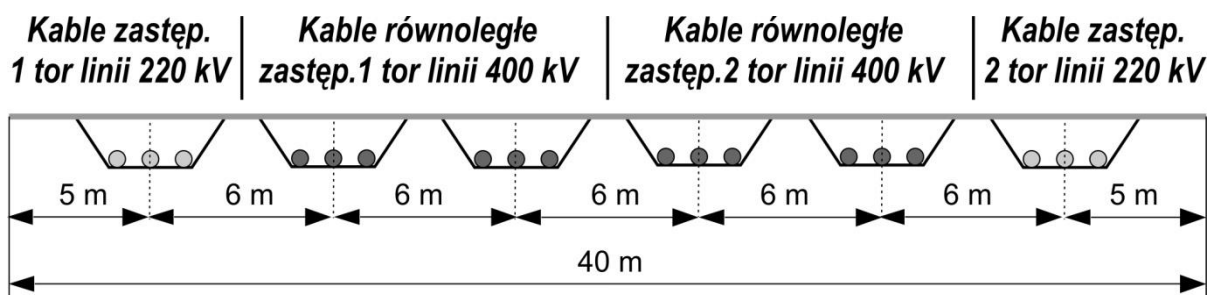
Bariery techniczne i społeczne

Reakcję społeczną na perspektywę budowy nowej linii napowietrznej w pobliżu terenów zabudowanych najlepiej obrazuje pokazany na rys. 6 plakat jednego z komitetów protestacyjnych. W tym przypadku wielokrotnie wskazywano na konieczność ułożenia odcinka linii kablowej w miejsce planowanej rozbudowy wielotorowej linii napowietrznej.



Rys. 6 Przykładowy plakat komitetu protestującego przeciwko budowie linii napowietrznej [11]

Coraz częściej spotykamy się także z sytuacją, że ze względu na rozbudowę np. osiedli mieszkaniowych konieczna jest zamiana fragmentu linii napowietrznej na linię kablową. Tak więc nie tylko w przypadku budowy linii stajemy przed dylematem wyboru rodzaju linii. Wymianę fragmentu linii napowietrznej wymuszają nie tylko wymagania techniczne (rozbudowa osiedli, budowa nowych obiektów itd.), ale często właśnie brak akceptacji społecznej nawet dla istniejących już linii napowietrznych. W ramach prac wykonywanych dla PSE-Operator S.A. przez zespół z Politechniki Poznańskiej – rozpatrywano możliwości zastąpienia odcinkiem linii kablowej fragmentu wielotorowej linii napowietrznej 2 x 400 kV + 2 x 220 kV. Zaproponowano wówczas rozwiązanie przedstawione na rys. 7, które zapewniało równoważność zdolności przesyłowej proponowanych linii kablowych – z budowaną wówczas linią napowietrzną – czyli dwa tory kablowe w miejsce jednego toru linii napowietrznej [11]. Budując wielotorową linię kablową WN i NN konieczne jest zajęcie znaczącego pasa terenu, aby zapobiec wzajemnemu oddziaływaniu na siebie kabli i należy pamiętać, że w większości przypadków dodatkowe poszerzenie tego pasa jest spowodowane koniecznością zainstalowania dwóch lub więcej kabli elektroenergetycznych na jedną fazę – aby zapewnić wymaganą moc przesyłową, równą mocy tej linii napowietrznej, której fragmentem ma być linią kablową [12].



Rys. 7 Konieczny pas terenu do budowy linii kablowych zastępujących fragment wielotorowej linii napowietrznej [11]

Barierą techniczną przy budowie linii kablowych może więc być teren zajmowany przez samą linię kablową, ale także wymagany tzw. pas techniczny, wydzielony nad linią, a konieczny dla dostępu między innymi odpowiedniego sprzętu przy usuwaniu ewentualnych awarii [12].

Natomiast przedstawione współczynniki uszkodzalności linii kablowych prądu przemiennego w oparciu o zanotowane uszkodzenia z przyczyn wewnętrznych oraz z uwzględnieniem wszystkich odnotowanych uszkodzeń dla samych kabli (z wyłączeniem uszkodzeń osprzętu) pokazane w tabelicy 5 napawają optymizmem - nawet uwzględniając uszkodzenia mechaniczne, niestety procentowo posiadające największy udział we wszystkich awariach linii.

Tablica 5. Współczynnik uszkodzalności kabli prądu przemiennego z podziałem na rodzaj konstrukcji wyrażony liczbą uszkodzeń na 100 km [9]

| Rodzaj uszkodzeń | Kable o izolacji XLPE | | | Kable o izolacji papier+olej | | |
|-----------------------|-----------------------|------------|-------|------------------------------|------------|-------|
| | 60-219 kV | 220-500 kV | razem | 60-219 kV | 220-500 kV | razem |
| wszystkie uszkodzenia | 0,085 | 0,133 | 0,088 | 0,109 | 0,248 | 0,149 |
| przyczyny wewnętrzne | 0,027 | 0,067 | 0,030 | 0,014 | 0,107 | 0,041 |

Tendencje rozwoju

Uzyskanie wyższej zdolności przesyłowej kabli jest możliwe, gdy zastosuje się większy przekrój żyły roboczej i podwyższy napięcie pracy kabla. Coraz częściej prezentowane są kable o żyłach 3000 mm², a przekrój 2500 mm² dla kabli 400 kV powoli w wielu krajach staje się standardem.

Optymistycznym faktem jest, że już w 2010 roku na Sesji Generalnej CIGRE pokazano kabel na napięcie 800 kV o izolacji z polietylenu usieciowanego (rys. 8). Należy również dodać, że w referacie pominięto zagadnienia związane z dynamicznym rozwojem sieci kablowej prądu stałego – i to zarówno sieci kabli lądowych (rys. 9), jak i kabli morskich [14].

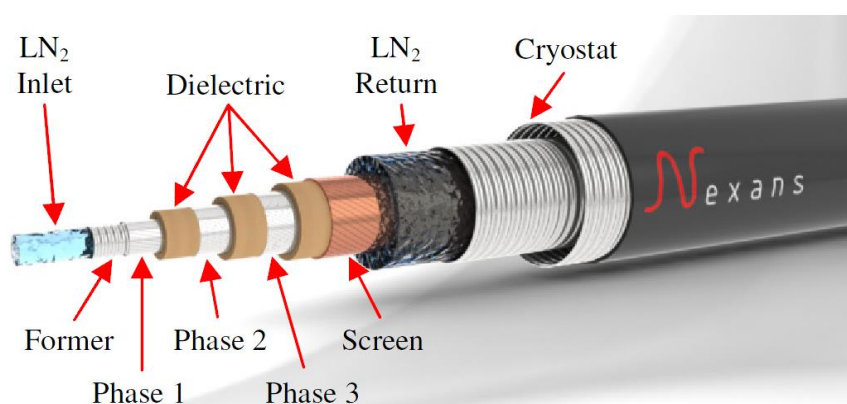


Rys. 8 Próbka kabla o izolacji XLPE prądu przemiennego 800 kV (fot. autorka)



Rys. 9 Próbka kabla HVDC Light na napięcie 320 kV (fot. autorka)

Wybiegając w przyszłość, należy zwrócić uwagę na możliwość rozbudowy sieci kablowej z wykorzystaniem kabli nadprzewodzących. Podczas ostatniej Sesji CIGRE 2012 zaprezentowano projekt alternatywny do rozbudowy standardowej sieci kablowej 110 kV w obszarach miejskich. Propozycja ta oparta jest o wykorzystanie nadprzewodzących kabli 10 kV (rys. 10). Przeprowadzono analizę i wykonano studium wykonalności dla wykorzystania takiego rozwiązania dla rozbudowy sieci kablowej w mieście Essen. Dzięki kablom nadprzewodnikowym 10 kV można zrezygnować z budowy czterech, z dziesięciu planowanych, stacji transformatorowych 110/10 kV w centrum Essen. Rozbudowa sieci przy użyciu konwencjonalnych kabli wiąże się z dużą skalą zapotrzebowania terenu dla tras kablowych oraz wysokimi stratami przesyłowymi. W przeciwieństwie do docelowej sieci 110 kV, rozszerzając sieć za pomocą przewodów HTS, zapewnia się znacznie prostszą strukturę sieci, która wymaga mniej miejsca na trasy dla kabli dystrybucyjnych i mniejszą powierzchnię dla instalacji pozostałych urządzeń. Jeżeli rozbudowa sieci będzie wykonana za pomocą kabli HTS, całkowite koszty inwestycji mogą być niższe, w porównaniu z budową standardowej sieci 110 kV.



Rys. 10. Projekt kabla nadprzewodnikowego 10 kV [15]

Szerokie stosowanie kabli nadprzewodnikowych nadal dotyczy dalszej przyszłości, mimo, że instalowane są kolejne linie o coraz dłuższych odcinkach. Na dzień dzisiejszy należy skupić się więc na coraz bardziej innowacyjnych projektach rozbudowy sieci kablowej układanej „standardowymi” kablami o izolacji wytłaczanej.

Szeroko rozumiane aspekty techniczne, ale przede wszystkim aspekty środowiskowe (społeczne), będą wielokrotnie w sposób decydujący wpływały na wybór rodzaju linii elektroenergetycznej. Należy bowiem pamiętać o koniecznym do budowy linii terenie, uzyskaniu akceptacji społecznej dla nowych linii oraz wielu innych czynnikach decydujących o tym wyborze. Oczywiście jest, że oczekiwania społeczne dążą również do zwiększenia bezpieczeństwa eksploatacji linii kablowych, a więc do zapewnienia właściwej ochrony przeciwporażeniowej, zminimalizowania oddziaływania pola elektromagnetycznego, a także zagrożenia pożarowego.

Na podstawie oceny stanu obecnego i dotychczasowych doświadczeń, należy sądzić, że ze względów określanych ogólnie jako społeczne wymuszony zostanie w najbliższym czasie jeszcze bardziej dynamiczny rozwój sieci kablowej – w porównaniu z obserwowaną dynamiką tego rozwoju w ostatniej dekadzie.

Literatura

- [1] Dovle J., Luain C.O., Coffey K., *Use of reduced visual impact design on 220 kV and 400 kV overhead lines in Ireland*, CIGRE Session, 2010, paper B2-110
- [2] Dongil L., *Level of EMF mitigation by using compact transmission tower with insulation arms*, CIGRE Session 2010, Dis.B2. PS.1-Q1-6
- [3] Grobicki J., *Kable elektroenergetyczne o izolacji z tworzyw sztucznych na napięcie znamionowe 110 kV*, II Seminarium “Sieci kablowe 110 kV”, Gliwice, październik 1976
- [4] Panfil S., *Doświadczenia eksploatacyjne i lokalizacja uszkodzeń kabli olejowych 110 kV*, Instytut Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1986
- [5] Dane PTPiREE – broszury: Energetyka; Fakty i liczby oraz <http://www.ptpiree.pl>
- [6] Hochstein B., *DISCAB failure statistics*, Workshop on MV cables, Darmstadt 1996
- [7] McMahon M., Evensen B.D., *Comparison of overhead lines and underground cables*, CIGRE Technical Brochure No 110, December 1996
- [8] Swingler S., Barber K., Daly J., Awad R., Antic J., Zenger W., *Statistics of AC underground cables in power networks*, CIGRE TB 338, WG B1-07, December 2007
- [9] Rosevear R.D., Choquette M., Fairhurst M., Jorgensen H.J., Larsen J.E., Mampeay B., Rakowska A., Tricoli S., Wasch V., *Update of service experience of HV underground and submarine cable systems*, CIGRE TB 379, April 2009
- [10] Rosevear R.D., Choquette M., Fairhurst M., Jorgensen H.J., Larsen J.E., Mampeay B., Rakowska A., Tricoli S., Wasch V., *Update of service experience of HV underground and submarine cable systems*, ELECTRA, No 245, April 2009, CIGRE
- [11] <http://www.lasem1000.fora.pl>
- [12] Rakowska A., Grzybowski A., *Aspekty techniczno-ekonomiczne związane z projektowaniem, budową i eksploatacją wielotorowych kablowych linii przesyłowych o napięciu maksymalnym 400 kV*, opracowanie IE PP dla PSE Operator, Poznań, 2005; od 2005 na stronie <http://www.nowaliniapoznan.pl/index.php?mg=9>
- [13] Rakowska A., Grzybowski A., Siodła K., Stiller J., *Wytyczne do budowy w Polsce linii kablowych o napięciu 400 kV*, Opracowanie IE PP dla Vattenfall Heat Polska S.A. 2007
- [14] Rakowska A., *Linie kablowe prądu stałego – wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011
- [15] Breuer A., Noe M., Oswald B., Schmidt R. F. *Superconducting medium-voltage cables for urban power supply as an alternative scenario to 110 kV installations*, CIGRE Session 2012, Paris, paper B1. 301